Р. М. МАЛИНИН

РЕЗИСТОРЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

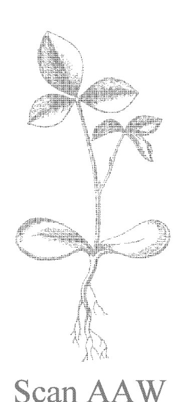
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Справочная серия

Вып. 591

Р. М. МАЛИНИН

РЕЗИСТОРЫ
(сопротивления)





ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1965 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.316.18(083) 621.396.6
М19

Брошюра содержит краткие сведения об отечественных резисторах (электрических сопротивлениях) широкого применения, о непроволочных резисторах повышенной точности, а также о терморезисторах.

Даются рекомендации по выбору и правильному применению резисторов различных типов в радиоэлектронной аппаратуре.

Предназначена для подготовленных радиолюбителей, занимающихся конструированием аппаратуры.

Малинин Роман Михайлович

РЕЗИСТОРЫ (сопротивления),
М.—Л., издательство «Энергия», 1965.

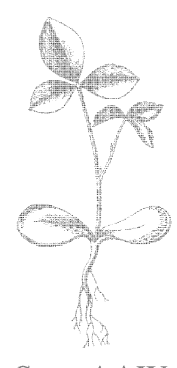
48 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 591)
Сводный тематический план «Радиоэлектроника и связь», 1965, № 211

* *
*

Редактор *Г. Н. Брузель*
Техн. редактор *Н. С. Мазурова*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 3/IX 1965 г. Подписано к печати 22/XI 1965 г.
Формат 84×108 1/32 Печ. л. 2,52 Уч.-изд. л. 2,45 Т-16102
Тираж 103000 экз. Цена 10 коп. Зак. 2261

Владимирская типография Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР
по печати
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б



ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Государственными стандартами СССР последних лет электрическим сопротивлениям как радиодеталям присвоено название **резисторы**. Это сделано для того, чтобы различать «сопротивление» как изделие и «сопротивление» как его физическое свойство, электрическую величину.

Резисторы, сопротивление которых нельзя изменять в эксплуатации называют постоянными резисторами (рис. 1, *а* и *б*).

Резисторы, с помощью которых осуществляют различные регулировки в аппаратуре путем изменения их сопротивления вращением осей, называют **переменными** резисторами или потенциометрами (рис. 1, *в—е*).

Резисторы, сопротивление которых изменяют только в процессе налаживания (настройки) аппаратуры с применением инструмента, например отвертки, называют **регулируемыми** резисторами (рис. 1, *ж* и *з*).

По роду материала, из которого изготовлены токопроводящие части резисторов, они разделяются на проволочные и непроволочные. В последних токопроводом являются полупроводниковые материалы или специальные металлические сплавы высокого удельного сопротивления. Кроме того, непроволочные резисторы разделяются по основному конструктивному признаку на **пленочные** и **объемные**. В пленочных резисторах полупроводниковый материал или металлический сплав нанесен на поверхность керамики или иного изоляционного материала в виде тонкого слоя — пленки. Токопроводящая часть объемного непроволочного резистора представляет собой стержень или тело иной формы из полупроводникового материала.

Наиболее распространены в радиоаппаратуре непроволочные пленочные резисторы, обладающие линейной вольт-амперной характеристикой (ток через резистор практически пропорционален приложенному к нему напряжению, сопротивление его мало зависит от температуры и других внешних воздействий). Резисторы этих типов получили широкое распространение в силу следующих их преимуществ по сравнению с проволочными резисторами: а) значительно меньшие размеры и вес; б) незначительные индуктивность и собственная емкость; в) постоянство сопротивления в широком диапазоне частот и г) дешевизна и простота в изготовлении вплоть до сопротивлений в десятки мегом и больше.

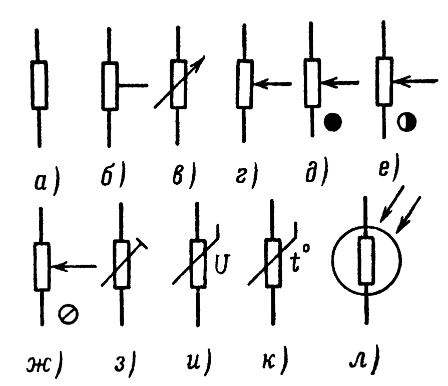


Рис. 1. Условные графические обозначения резисторов на принципиальных схемах

а — общее обозначение постоянного резистора; *б* — постоянный резистор с отводом; *в* и *г* — общее обозначение переменного резистора; *д* — переменный резистор с ручкой управления на передней панели прибора (аппарата); *е* — то же на боковой или задней стенке; *ж* — регулируемый резистор (например, с применением отвертки), подстроечный резистор; *з* — то же, без указания способа регулирования; *и* — варистор; *к* — терморезистор (термистор); *л* — фоторезистор

Кроме того, в радиоэлектронной аппаратуре применяют непроволочные нелинейные резисторы: а) варисторы, сопротивление которых сильно изменяется при изменении приложенного к ним напряжения (рис. 1, *и*); б) терморезисторы (термисторы), сопротивление которых резко изменяется при изменениях температуры и напряжения (рис. 1, *к*); в) фоторезисторы (фотоэлементы с внутренним фотоэффектом, рис. 1, *л*) — приборы, сопротивление которых уменьшается под действием световых лучей или иных излучений (оно зависит также от приложенного напряжения).

ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН, ПРИНЯТЫЕ В СПРАВОЧНИКЕ

α — температурный коэффициент сопротивления резистора, *%/град* (для терморезистора при температуре 20° С).

$\alpha_{общ}$ — температурный коэффициент цепи, состоящей из терморезистора и линейного резистора (резисторов) при температуре 20° С, *%/град*.

α_t — температурный коэффициент терморезистора при заданной температуре, *%/град*.

$D_{макс}$ — наибольший диаметр корпуса резистора (терморезистора), *мм*.

I — величина тока постоянного или переменного (действующее значение), *ма, а*.

$L_{макс}$ — наибольшая длина корпуса резистора, *мм*.

P — электрическая мощность, *вт*.

$P_{ном}$ — номинальная мощность рассеяния резистора, *вт*.

$P_{мин}$ — минимальная мощность рассеяния терморезистора, *мвт*.

$P_{tмакс}$ — допустимая мощность рассеяния резистора или терморезистора при максимальной рабочей температуре, *мвт*.

$P_{расс}$ — мощность рассеяния резистора, *вт*.

$R_д$ — сопротивление резистора, включенного последовательно с терморезистором в цепь с заданным ТКС, *ом, ком*.

$R_н$ — сопротивление нагрузки потенциометра, *ом, ком, Мом*.

$R_{нагр}$ — сопротивление предельно нагруженного номинала резистора, *ком*.

$R_{ном}$ — номинальное сопротивление резистора, терморезистора, *ом, ком, Мом, Гом*.

$R_{общ}$ — общее сопротивление электрической цепи с заданным ТКС (состоящей из терморезистора и обычного резистора), *ом, ком*.

$R_п$ — сопротивление переменного резистора между его крайними выводами, *ом, ком, Мом*

$R_т$ — номинальное сопротивление терморезистора, примененного в электрической цепи с заданным ТКС, *ом, ком*.

$R_ш$ — сопротивление резистора, шунтирующего терморезистор в цепи с заданным ТКС, *ом, ком*.

t — температура, °С.

$t_{макс}$ — предельная рабочая температура резистора, °С.

$t_{ном}$ — наибольшая температура, при которой резистор может рассеивать номинальную мощность, °С.

τ — постоянная времени терморезистора, *сек*.

U — напряжение постоянного тока, действующее напряжение переменного тока, *в*.

$U_{макс}$ — предельное рабочее напряжение резистора, *в*.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ РЕЗИСТОРОВ

Резисторы классифицируют: а) по типам (конструкции); б) по номинальной мощности рассеяния — наибольшей мощности, которая может длительное время рассеиваться на резисторе; в) по номинальной величине электрического сопротивления (сокращенно, номинал сопротивления) и г) по наибольшему допускаемому отклонению действительной величины сопротивления от номинальной (это отклонение называют иногда сокращенно допуском).

Переменные резисторы (потенциометры) еще различают по характеру изменения их сопротивления между крайними и средними выводами при вращении их осей. Изготовляют переменные резисторы следующих видов: а) у которых сопротивление между средним и любым из крайних выводов изменяется прямо пропорционально углу поворота оси (линия *А* на рис. 2); б) у которых сопротивление между средним и правым выводами (если смотреть на резистор сзади — со стороны, противоположной стороне оси) при вращении оси по часовой стрелке изменяется по логарифмической кривой: вначале относительно быстро, а затем медленнее (линия *Б* на рис. 2) и в) у которых сопротивление между средним и правым выводами при вращении оси по часовой стрелке изменяется по обратно логарифмической кривой: вначале относительно медленно, а затем быстрее (линия *В*).

Кроме того, постоянные и переменные резисторы характеризуются некоторыми другими параметрами, о которых сказано ниже.

Номинальное сопротивление — обозначенное на ре-

зисторе сопротивление (табл. 1). Для переменного и регулируемого резистора это сопротивление между его крайними выводами. На непроволочных резисторах вместо единицы измерения килоом часто ставят букву «к», вместо мегом — букву «М», а обозначение ом вообще не ставят.

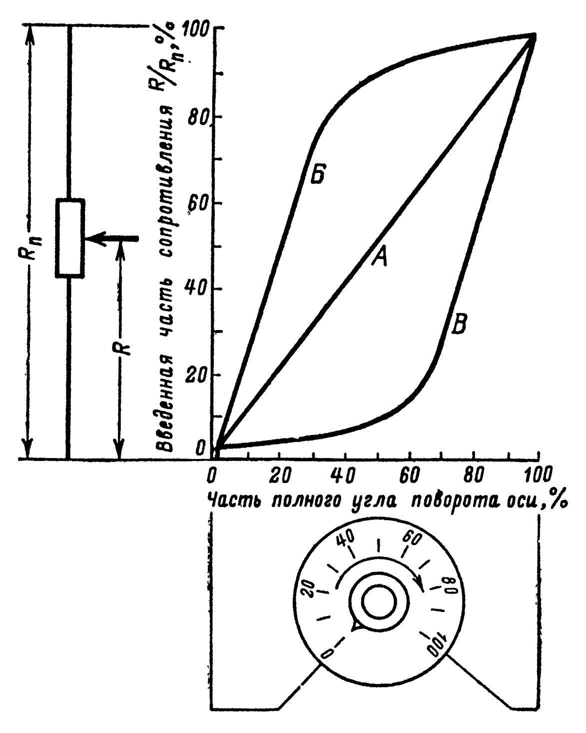


Рис. 2. Кривые, показывающие зависимость величины введенного сопротивления от угла поворота оси переменного непроволочного резистора.

Отклонение от номинальной величины. Постоянные резисторы широкого применения изготовляют с наибольшими допускаемыми отклонениями от номинальной величины сопротивления ±5, ±10 и ±20%. Отклонение ±5 или ±10% указывается на резисторе. Иногда вместо обозначения ±5% на резисторе стоит римская цифра I (первый класс точности), а вместо ±10% — цифра II (второй класс точности). Сопротивление резисто-

Таблица 1

Ряды номинальных сопротивлений резисторов при различных допускаемых отклонениях[1]

Допускаемые отклонения от номинальных величин сопротивлений								
±5%	±10%	±20%	±5%	±10%	±20%	±5 %	±10%	±20%
НОМИНАЛЬНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ: омы, десятки ом, сотни ом, килоомы, десятки килоом, сотни килоом, мегомы, десятки мегом								
1,0	1,0	1,0	2,2	2,2	2,2	4,7	4,7	4,7
1,1			2,4			5,1		
1,2	1,2		2,7	2,7		5,6	5,6	
1,3			3,0			6,2		
1,5	1,5	1,5	3,3	3,3	3,3	6,8	6,8	6,8
1,6			3,6			7,5		
1,8	1,8		3,9	3,9		8,2	8,2	
2,0			4,3			9,1		

[1] Переменные непроволочные резисторы изготавливают с номинальными сопротивлениями только по ряду «±20%», начиная с 47 *ом*, с допускаемыми отклонениями от номинала ±20, ±25 и ±30%; резисторы типов СП-I — СП-V, кроме того, изготавливают с номинальными сопротивлениями 500 *ом*; 2,5; 5; 25; 50; 250 и 500 *ком*; 2,5 и 5 *Мом*.

ра, на котором отклонение не указано, может иметь отклонение от номинальной величины ±20%.

Постоянные резисторы, предназначаемые специально для использования в измерительной аппаратуре и в других случаях, когда требуется большая точность сопротивлений применяемых резисторов (точные, прецизионные резисторы), изготовляются с меньшими отклонениями от номинальных величин сопротивлений: ±0,1; ±0,2; ±0,5; ±1 и ±2%. Допускаемое отклонение от номинального сопротивления на этих резисторах, как правило, обозначается.

Переменные непроволочные резисторы изготавливают с наибольшими допускаемыми отклонениями от номинала ±20, ±25 и ±30%, которые на резисторах не обозначаются.

Соседние номиналы резисторов с данным допустимым отклонением отличаются друг от друга так, что наибольшее фактически возможное сопротивление резистора, маркированного какой-либо номинальной ве-

личиной, совпадает с наименьшей фактически возможной величиной (или несколько больше) ближайшего большего номинала. Так, например, после номинала 100 *ком* по ряду «±20%» идет номинал 150 *ком*, так как 100 *ком*+20%=120 *ком*, а 150 *ком* —20%=120 *ком*. Для других рядов разница между соседними номиналами меньше.

На заводах-изготовителях постоянные непроволочные резисторы широкого применения разбраковывают так, что фактическое отклонение от номинальной величины сопротивлений резисторов с маркировкой «5%» не превышает ±3÷4% и с маркировкой «10%» ±8÷9%.

Необходимо заметить, что фактические отклонения величин сопротивлений не выходят за пределы допускаемых только в нормальных условиях (температура 15—25° С, относительная влажность не выше 80%); в иных климатических условиях отклонения могут быть больше.

Применимость резисторов с различными отклонениями от номинальной величины сопротивления определяется местом их в схемах. Если даже относительно большое изменение сопротивления мало влияет на режим работы схемы, можно использовать резистор с отклонением от номинала ±20%. В радиоаппаратуре наиболее распространены непроволочные резисторы с отклонением от номинала ±10%. Резисторы с меньшими отклонениями используют в цепях, от которых зависят временны́е параметры схемы, а также в цепях, которые должны устанавливать и поддерживать с повышенной точностью режимы работы ламп.

Так, например, в цепи управляющей сетки лампы каскада усиления ВЧ и ПЧ, однотактного каскада усиления НЧ, сеточного детектора и электронно-светового индикатора настройки, а также в цепи сигнальной сетки преобразователя частоты супергетеродина, в цепи АРУ, в схеме диодного АМ детектора, в развязывающем фильтре цепи управляющей сетки электронной лампы и в цепи коллектора транзистора можно применить непроволочный резистор с любым отклонением от указанной в схеме или полученной расчетом номинальной величины сопротивления и даже с соседним номинальным сопротивлением по ряду «±20%» табл. 1.

Однако во избежание вредного влияния на работу схемы обратного тока управляющей сетки электронной лампы сопротивление резистора в цепи этой сетки не должно превышать следующих величин:

470 *ком* — для ламп 2П1П, 6Ж3П, 6К4П, 6Н2П, 6Н9С, 6П1П, 6П3С, 6П20С и 6П36С;

1 *Мом* — для ламп 1Б1П, 1К1П, 6Ж1П, 6Ж5П, 6Ж9П 6К13П, 6Н3П, 6Н5С, 6Н13С, 6Н14П, 6П7С, 6П14П, 6П15П, 6П18П, 6Ф4П а также для пентодных частей ламп 6Ф1П, 6Ф3П и 6Ф5П;

2 *Мом* — для лампы 2П2П и 6Г3П;

2,7 *Мом* — для ламп 1Б2П, 1К2П, 6Е1П и 6Ж32П.

Резистор в анодной цепи лампы, в цепи управляющих сеток ламп двухтактного НЧ каскада, в цепях эммитера и базы транзистора, в цепи гетеродинной сетки лампы преобразователя частоты, в детекторе ЧМ сигналов (детектор отношений, дробный детектор, дискриминатор), резистор сглаживающего или развязывающего фильтра анодной цепи, резистор автоматического смещения на управляющую сетку подогревной лампы (в цепи ее катода), а также резистор, понижающий напряжение на экранирующую сетку лампы каскадов УВЧ, УПЧ, УНЧ и преобразователя частоты гетеродина, следует выбрать с допускаемым отклонением ±10%. Если применить резистор с допускаемым отклонением ±20%, то, возможно, придется для установления нормального режима каскада подбирать резистор.

В цепях частотной коррекции и отрицательной обратной связи усилителей НЧ, в делителях напряжения также нужно применять резисторы с допускаемым отклонением ±10%, но и при таком допуске их часто приходится подбирать при регулировке изготовленной аппаратуры.

В качестве добавочных сопротивлений вольтметров (миллиампервольтомметров) лучше всего применять резисторы повышенной точности с отклонением от номинального сопротивления не хуже ±0,5÷2% (типов УЛИ, БЛП, МГП).

Если такие резисторы приобрести трудно, приходится применять резисторы типа ВС с маркированным допускаемым отклонением ±5%, подбирая резисторы из их числа с возможно меньшим фактическим откло-

нением от номинального сопротивления. На каждом таком резисторе в этих случаях должна рассеиваться мощность в 3—5 раз меньше номинальной.

Мощность рассеивания. При прохождении по резистору электрического тока вся выделяемая в нем энергия превращается в тепловую. Чем больше сопротивление резистора R и больше ток I через него (чем больше падение напряжения U на резисторе), тем бо́льшая мощность P нагревает резистор; при этом $P=I^2R$ или $P=U^2/R$. Приобретаемое резистором тепло рассеивается в окружающее пространство. Чем больше поверхность резистора и ниже температура окружающей среды, тем легче условия теплопередачи от резистора в эту среду. Если величина тока через резистор (или падение напряжения на нем) неизменны, то по истечении некоторого времени наступает состояние теплового равновесия: количество тепла, получаемого резистором за единицу времени, становится равным количеству рассеиваемого им тепла, и температура резистора устанавливается (перестает возрастать).

Допустимая для резистора температура зависит от его конструкции (геометрических размеров, конфигурации, примененных материалов и т. п.). При превышении этой температуры (перегреве) резистор может выйти из строя.

Номинальной мощностью рассеивания резистора называют предельную мощность постоянного или переменного тока, при которой резистор может длительное время надежно работать, если температура окружающей среды не превышает $t_{ном}$. Эта температура для резисторов различных типов указана в табл. 2 (при этом температура нагрева резистора не превышает допустимой).

Если вследствие выделения тепла электронными лампами, мощными транзисторами, трансформаторами питания и другими элементами схемы температура внутри аппаратуры больше величины $t_{ном}$, но на каждые 10° С превышения температуры сверх $t_{ном}$ предельная мощность рассеяния должна снижаться на 15% при использовании непроволочных резисторов типа ВС, на 14% при использовании резисторов типа МЛТ, МТ или КИМ и на 4% при использовании проволочных эмалированных резисторов.

Таблица 2

Рабочие температуры резисторов

Тип резистора	$t_{ном}$, °С	$t_{макс}$, °С	Тип резистора	$t_{ном}$, °С	$t_{макс}$, °С
		Постоянные резисторы			
ВС, УЛМ	40	100	МЛТ, МЛМ	70	125
КИМ	55	100	МТ	150	200
УЛИ	60	80	МГП	55	55
БЛП	60	60	ПЭ, ПЭВ, ПЭВР	40	155
		Переменные резисторы			
СП	20	70	СП3-7, СП3-8	70	70
ТК, ВК, СНК, СНВК	20	60	СПО	80	130
		Терморезисторы			
ММТ, КМТ	20	125*			

* Для резисторов КМТ-8 и ММТ-8 $t_{макс}$=70° С, а для резисторов КМТ-1 $t_{макс}$ =180° С.

Максимальные рабочие температуры $t_{макс}$ для резисторов различных типов, которые совершенно недопустимо превышать при эксплуатации, тоже указаны в табл. 2.

В условиях теплового режима аппаратуры с электронными лампами резисторы типов МЛТ, МТ, ПЭ, ПЭВ и ПЭВР могут обычно работать в электрическом режиме, соответствующем полной номинальной мощности рассеяния (для повышения надежности резисторы МЛТ желательно нагружать не свыше 70% номинальной мощности), а резисторы ВС до 50% номинальной мощности рассеяния.

Номинальную мощность рассеяния постоянного линейного резистора (а также и так называемых объемных переменных резисторов) обычно указывает число, входящее в его наименование. Например, номинальная мощность рассеивания резистора ВС-0,25 равна 0,25 *вт*, резистора МЛТ-1 — 1 *вт*, резистора ПЭВ-10 — 10 *вт*. На

резисторах малых размеров из-за недостатка места номинальная мощность рассеяния обычно не обозначена; ее можно определить по геометрическим размерам резистора (см. табл. 4). Резисторы с различными номинальными мощностями рассеяния обозначают на принципиальных схемах, как показано на рис. 3.

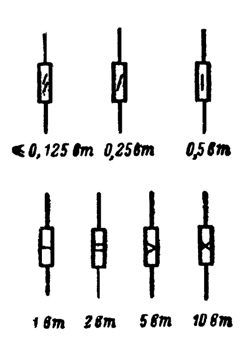


Рис. 3. Условные обозначения номинальных мощностей рассеяния резисторов.

Предельное напряжение — наибольшее напряжение, при котором резистор может надежно работать. Величину напряжения постоянного тока или действующего напряжения переменного тока U (*в*), которое допустимо приложить к резистору (падение напряжения на резисторе) с данной мощностью рассеяния P (*вт*) и данным сопротивлением $R_{ном}$ (*ом*), вычисляют по формуле

$$U = \sqrt{PR_{ном}}. \qquad (1)$$

При температуре, не превышающей $t_{ном}$, принимают $P = P_{ном}$, а при более высоких температурах (до $t_{макс}$) величина P соответственно снижается, как сказано выше.

Если на резисторе будет действовать напряжение, превышающее вычисленное по формуле (1), мощность также превысит допустимую, резистор перегреется и может быстро выйти из строя.

Формулой (1) можно пользоваться и для вычисления напряжения, допустимого для переменных резисторов с линейной зависимостью сопротивления от угла поворота оси (кривая *А* на рис. 2). Для переменных резисторов с нелинейной зависимостью сопротивления от угла поворота оси (кривые вида *Б* и *В* на рис. 2) полученную по формуле (1) величину необходимо уменьшать в 1,4 раза.

Вместе с тем для непроволочных резисторов каждого данного типа с данной номинальной мощностью рассеяния существует некоторое предельное рабочее напряжение $U_{макс}$, при превышении которого может возникнуть электрическое перекрытие между частями резистора: искровой разряд, электрическая дуга. Чем больше длина резистора, тем больше и предельное рабо-

чее напряжение. Номинальное сопротивление, при котором номинальная мощность рассеяния совмещается с предельным рабочим напряжением, называют предельно нагруженным номиналом резистора ($R_{нагр}$). Эти номиналы для постоянных непроволочных резисторов широкого применения имеют величины порядка сотен тысяч ом: $R_{нагр}$ = 180 *ком* для резисторов УЛМ (ВС-0,125), 470—510 *ком* для ВС-0,25—ВС-2, 300—330 *ком* для МЛМ (МЛТ-0,125), 240—270 *ком* для МЛТ-0,25—МЛТ-1 и 270—300 *ком* для МЛТ-2 (зависит от фактического отклонения величины сопротивления от номинальной величины).

Резисторы с номинальными сопротивлениями меньшей величины ($R_{ном} < R_{нагр}$) могут во время работы рассеивать мощности, достигающие номинальных величин при напряжениях, вычисленных по формуле (1); эти напряжения всегда меньше предельных напряжений $U_{макс}$.

С другой стороны, резисторы с номинальными сопротивлениями $R_{ном} > R_{нагр}$ всегда будут рассеивать мощности ниже номинальных и могут работать при напряжениях $U_{макс}$, указанных в приводимой ниже табл. 4, независимо от величины сопротивления.

Для переменных непроволочных сопротивлений регламентируются предельные напряжения между крайними выводами. Требуемую номинальную мощность рассеяния резистора по падению на нем напряжения или току через него можно определить по графику на рис. 4.

Пример 1. Резистор сопротивлением 15 *ком* нужно подключить к источнику напряжения 100 *в*. Требуется определить номинальную мощность рассеяния резистора.

Так как задано напряжение, пользуемся на графике по рис. 4 линиями для шкалы напряжений. Вертикальная линия, проведенная от отметки «15 *ком*» шкалы «омы-килоомы», пересекает горизонтальную линию, проведенную от отметки «100 *в*» шкалы «вольты», в точке между наклонными линиями с обозначениями «0,5 *вт*» и «1 *вт*». Следовательно, нужен резистор, допускающий рассеивание мощности 1 *вт*, например МЛТ-1.

Пример 2. Резистор автоматического смещения в цепи катодов ламп оконечного каскада должен иметь сопротивление 220 *ом*. Через него будет проходить ток 85 *ма* (суммарный ток анодов и экранирующих сеток пентодов). Выбрать вид резистора, учитывая, что темпе-

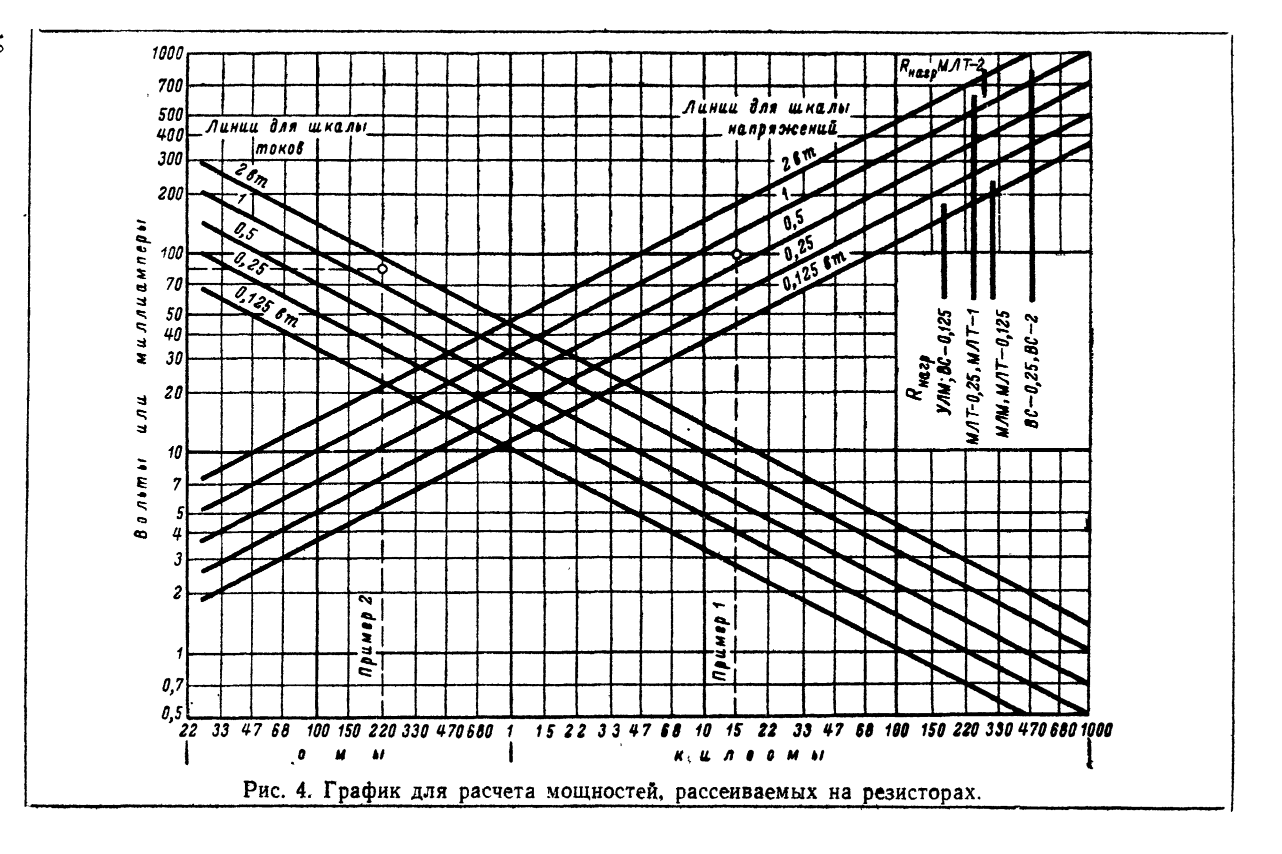


Рис. 4. График для расчета мощностей, рассеиваемых на резисторах.

ратура внутри радиоаппарата будет превышать 40° С.

Поскольку задан ток через резистор, пользуемся линиями для шкалы токов. Вертикальная линия, проведенная от отметки «220 *ом*», пересекает горизонтальную линию, проведенную от отметки «85 *ма*» шкалы «миллиамперы», в точке между наклонными линиями с обозначениями «1 *вт*» и «2 *вт*». Следовательно, для автоматического смещения нужно применить резистор МЛТ-2. Резистора ВС-2 использовать не следует, так как в аппаратуре по условию будет температура $t \geqslant 40°$ С, превышающая температуру $t_{ном}$ для резисторов ВС.

Температурный коэффициент. Электрическое сопротивление всякого вещества изменяется при изменениях температуры; изменяется и сопротивление резисторов. Величину, характеризующую относительное изменение сопротивления при изменении температуры на 1° С, называют температурным коэффициентом сопротивления (сокращенно: ТКС); обозначают его греческой буквой α (альфа). Если при увеличении температуры сопротивление увеличивается, а при уменьшении — уменьшается, то ТКС положительный, перед ним ставят знак плюс; если же при повышении температуры сопротивление уменьшается (при понижении — увеличивается), то ТКС отрицательный, перед ним ставят знак минус.

У линейных непроволочных резисторов широкого применения (ВС, МЛТ) ТКС имеет величину порядка тысячных долей на 1° С, а у специальных резисторов, например предназначаемых для применения в измерительной аппаратуре, он еще меньше (табл. 3). При этом у непроволочных резисторов, в которых в качестве токопроводящего материала используется углерод (резисторы типов ВС, УЛИ и др.), ТКЕ, как правило, отрицательный.

Шумы резисторов. Токопроводящий материал непроволочного резистора состоит из большого числа отдельных мелких контактирующих между собой частиц, образующих токопроводящие цепочки. Общая величина сопротивления резистора определяется в значительной мере переходными сопротивлениями между этими частицами. Вследствие того, что контакты между ними не постоянны и переходные сопротивления непрерывно и беспорядочно изменяются, проходящий по непроволочному резистору электрический ток также непрерывно и беспо-

Таблица 3

Температурные коэффициенты непроволочных резисторов

Вид резистора	Пределы $R_{ном}$	α %/*град* при $t=20°$ C ÷ $t_{макс}$ *	Вид резистора	Пределы $R_{ном}$	α %/*град* при $t=20°$ C ÷ $t_{макс}$ *
ВС-0,125 (УЛМ)	⩽1 *Мом*	—0,12	МЛТ-0,125—МЛТ-2	⩽10 *Мом*	±0,12
ВС-0,25—ВС-2	<1 *Мом*	—0,07	МТ-0,125—МТ-2	<510 *ком*	±0,12
	⩾1 *Мом*	—0,12		⩾510 *ком*	±0,16
ВС-5, ВС-10	⩽10 *ком*	—0,05	МГП-0,5	⩽5,1 *Мом*	±0,01
	>10 *ком*	—0,10	МГП-0,5 класса Б	⩽5,1 *Мом*	±0,02
КИМ-0,05, КИМ-0,125	⩽1 *Гом*	±0,20	**Терморезисторы**		
УЛИ-0,1—УЛИ-1	<10 *ом*	—0,03	КМТ-1, КМТ-4	⩽1 *Мом*	—6,3±2,1
			КМТ-8	⩽10 *ком*	—6,3±2,1
БЛП-0,1—БЛП-1			ММТ-1, ММТ-4	⩽220 *ком*	—3,7±1,3
класса А	⩽100 *ком*	—0,01	ММТ-8	⩽47 *ом*	—2,8±0,4
БЛП-0,1—БЛП-1				56—100 *ом*	—3,0±0,4
класса Б	⩽100 *ком*	—0,02		⩾120 *ом*	—3,3±0,7
Переменные резисторы					
СП	<100 *ком*	±0,10	ММТ-9	⩽4,7 *ком*	—3,7±1,3
	⩾100 *ком*	±0,20	ММТ-13	⩽2,2 *ком*	—3,7±1,3

* Для постоянных и переменных линейных резисторов указаны наибольшие значения температурного коэффициента. Для терморезисторов даны средние значения температурного коэффициента при температуре 20° C; температурный коэффициент терморезисторов при другой температуре t можно определить по формуле

$$\alpha_t = \frac{860\,\alpha}{(273+t)^2}. \qquad (2)$$

рядочно изменяется по величине. А это в свою очередь приводит к тому, что непрерывно изменяется и падение напряжения на резисторе — на его концах возникает переменная э. д. с. Когда непроволочный резистор работает в усилительной схеме, последующие каскады усиливают эту э. д. с. вместе с полезным сигналом. При большом усилении на выходе устройства может получиться достаточно большое напряжение помехи. Если на выход включен телефон (громкоговоритель), в нем будут слышны шумы. Поэтому переменная э. д. с. самопроизвольно возникающая на непроволочном резисторе, называется э. д. с. шумов, а описанное явление — шумом непроволочного резистора. При увеличении напряжения, приложенного к резистору, э. д. с. шумов увеличивается.

Шумы непроволочного резистора оценивают по величине возникающей на выводах резистора переменной э. д. с. шумов, отнесенной к 1 *в* приложенного к резистору напряжения постоянного тока.

Электродвижущую силу шумов резисторов принято измерять в полосе частот 50—5 000 *гц* при рассеянии номинальной мощности (полоса частот определяется полосой пропускания усилителя, входящего в измерительное устройство).

По величине э. д. с. шумов непроволочные постоянные резисторы разделяются на две группы:

группа А — с э. д. с. не больше 1 *мкв/в*;

группа Б — с э. д. с. шумов не больше 5 *мкв/в*.

Группа по э. д. с. шумов обозначается на теле резистора только в том случае, когда он соответствует группе А.

Влагоустойчивость резисторов является важной эксплуатационной характеристикой их. Ее оценивают по относительному изменению сопротивления резистора после длительного пребывания его в атмосфере с высокой влажностью по сравнению с величиной, измеренной в нормальных условиях. У непроволочных резисторов это изменение не превышает нескольких процентов, причем у низкоомных резисторов оно, как правило, значительно меньше, чем у высокоомных.

ПОСТОЯННЫЕ НЕПРОВОЛОЧНЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Непроволочный пленочный резистор представляет собой цилиндрический керамический стержень или керами-

ческую трубку, на поверхность которых нанесен тонкий слой материала с малой электропроводностью. На концы стержня (трубки) надеты латунные луженые или посеребренные хомутики с «хвостами» из того же материала или колпачки из такого же материала с проволочными медными выводами, расположенными по оси резистора. Стержень (трубка) вместе с хомутиками или колпачками покрыт влагостойкой эмалью. Резистор включается (подпаивается) в схему концами ленточных или проволочных выводов.

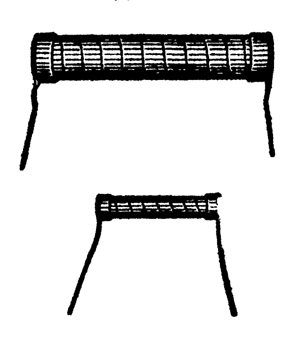


Рис. 5. Непроволочные постоянные резисторы видов ВС-0,125—ВС-2.

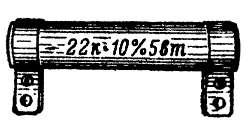


Рис. 6. Непроволочный постоянный резистор ВС-5.



Рис. 7. Непроволочные резисторы МЛТ и МТ. Такой же вид имеют резистор ВС-0,25а и терморезисторы ММТ-1 и КМТ-1.

Резисторы типа ВС. У резистора любого из видов УЛМ, ВС-0,125— ВС-2 (рис. 5) на поверхность керамического стержня нанесен токопроводящий слой углерода толщиной порядка тысячных — десятых долей микрона; у высокоомных резисторов слой тоньше, чем у низкоомных.

У резисторов с номинальными сопротивлениями 100—240 *ом* и выше на всю толщину слоя углерода прорезана спиральная канавка шириной 0,3—0,8 *мм*, превращающая этот слой в ленточную спираль. Вследствие этого путь электрического тока от одного конца стержня до другого удлиняется, так как ток проходит последовательно по всем виткам спирали из углерода. Чем тоньше слой углерода и больше витков в спирали, т. е. чем меньше ширина ее витков, тем большим получается сопротивление. На концы науглероженного стержня туго напрессованы латунные луженые или посеребренные хо-

мутики с хвостами-выводами из такого же материала. При их помощи резистор включают (подпаивают) в схему. Резисторы ВС-0,25 изготавливают также с концевыми контактными колпачками и проволочными торцевыми выводами (см. рис. 7); такие резисторы имеют обозначение ВС-0,25а. Весь науглероженный стержень вместе с хомутиками или колпачками покрыт органической эмалью зеленого цвета, защищающей проводящий слой от действия влаги.

Заметим, что резисторы ВС-0,25 с сопротивлением свыше 1 *Мом* ненадежны в работе, так как при большом числе витков нарезанной спирали они имеют очень тонкий слой углерода, который легко разрушается, особенно в условиях повышенной влажности и перегрева. Поэтому применение таких резисторов в аппаратуре не рекомендуется. При необходимости применять резисторы типа ВС с номинальными сопротивлениями свыше 1 *Мом* следует использовать резисторы ВС-0,5 или с бо́льшими номинальными мощностями рассеяния.

Вследствие того что толщина слоя углерода резисторов типов ВС и УЛМ меньше глубины проникновения переменного тока в широком диапазоне частот, их активные сопротивления до частот порядка нескольких мегагерц практически не отличаются от величин сопротивлений, измеренных на постоянном токе или переменном токе низкой частоты. На более высоких частотах наблюдается уменьшение активного сопротивления высокоомных резисторов, вследствие того что на прохождение тока начинают заметно влиять емкости между краями витков спирали токопроводящего слоя: эти емкости как бы шунтируют витки и уменьшают эффективную величину сопротивления. Так, у нарезных резисторов ВС-0,25 и ВС-0,5, которые преимущественно применяются в высокочастотных цепях радиоприемников, активное сопротивление на частоте 10 *Мгц* снижается примерно на 10%, а на частоте 100 *Мгц* приблизительно в 3 раза.

Резисторы типов ВС-5 и ВС-10 отличаются от резисторов ВС с меньшими номинальными мощностями рассеяния тем, что слой углерода нанесен не на сплошной стержень, а на керамическую трубку и выводные контакты выполнены в виде латунных хомутиков (рис. 6).

Резисторы типов МЛТ и МТ. На поверхность их керамических трубок нанесен обладающий большим удель-

ным сопротивлением слой специального сплава толщиной около 0,1 *мкм*. Различные величины сопротивлений получают изменением состава сплава и числа витков нарезанной спирали. Концевые контактные колпачки с проволочными выводами резисторов МЛТ имеют несколько иную конструкцию (рис. 7) по сравнению с резисторами ВС. Резисторы МЛТ окрашены в красный цвет. Важнейшими их преимуществами по сравнению с резисторами ВС является то, что при тех же номинальных мощностях рассеяния резисторы МЛТ обладают меньшими размерами (табл. 4) и работоспособны под нагрузкой полной номинальной мощностью при более высокой температуре окружающего воздуха (см. табл. 2). Кроме того, они обладают несколько лучшей влагоустойчивостью, чем резисторы ВС.

Однако вследствие того что проводящий слой резисторов МЛТ и МТ имеет большую толщину, чем у резисторов ВС, уменьшение активного сопротивления резисторов МЛТ становится заметным при более низких частотах: уже на частоте 10 *Мгц* у наиболее распространенных резисторов МЛТ-0,5, оно снижается примерно на одну треть, а на частотах 50—60 *Мгц* — в 4—5 раз по сравнению с величинами, измеренными на низких частотах.

Резисторы типов МЛТ и МТ, так же как и резисторы типа ВС, изготавливают с допустимым отклонением от номинального сопротивления ±5, ±10 и ±20%.

Стабильность сопротивления непроволочных резисторов ВС и МЛТ во времени. У большинства низкоомных непроволочных пленочных резисторов после выпуска их из производства при хранении их в бездействующем состоянии наблюдается некоторое увеличение сопротивления. Этот процесс старения завершается в основном в первые полгода — год, в течение которых сопротивление резисторов широкого применения ВС и МЛТ изменяется обычно не более чем на 1% первоначальной величины, оставаясь при этом в пределах маркированного допускаемого отклонения от номинальной величины сопротивления. У большинства высокоомных резисторов упомянутых типов в течение первых нескольких месяцев после выпуска с завода (иногда в течение года и больше) наблюдается уменьшение активного сопротивления, не превышающее, как правило, нескольких десятых долей про-

Таблица 4

Постоянные непроволочные резисторы

Вид резистора	$D_{макс} \times l_{макс}$, *мм*	Пределы $R^*_{ном}$	$P_{ном}$, *вт*	$P_{t\,макс}$, *мвт*	$U_{макс}$, *в*
Углеродистые пленочные					
ВС-0,125, УЛМ	2,5×7,0	10 *ом*—1 *Мом*	0,125	15	150
ВС-0,25, ВС-0,25а	5,5×16,5	27 *ом*—2 *Мом*	0,25	30	350
ВС-0,5	5,5×26,5	27 *ом*—10 *Мом*	0,5	60	500
ВС-1	7,6×30,5	27 *ом*—10 *Мом*	1,0	120	700
ВС-2	9,8×48,5	27 *ом*—10 *Мом*	2,0	240	1 000
ВС-5	25×75,0	47 *ом*—10 *Мом*	5,0	600	1 500
ВС-10	30×120	47 *ом*—10 *Мом*	10,0	1 200	3 000
Композиционные пленочные					
КИМ-0,05	1,8×3,8	10 *ом*—5,6 *Мом*	0,05	20	100
КИМ-0,125	2,5×8,0	27 *ом*—1 *Гом*	0,125	50	200
Металлопленочные					
МЛТ-0,125, МЛМ	2,0×6,0	51 *ом*—2,2 *Мом*	0,125	30	200
МЛТ-0,25	3,0×7,0	5,1 *ом*—3 *Мом*	0,25	60	250
МЛТ-0,5	4,2×10,8	100 *ом*—5,1 *Мом*	0,5	120	350
МЛТ-1	6,6×13,0	100 *ом*—10 *Мом*	1,0	250	500
МЛТ-2	8,6×18,5	100 *ом*—10 *Мом*	2,0	500	750
МТ-0,125	2,0×7,0	100 *ом*—1,1 *Мом*	0,125	35	200
МТ-0,25	2,7×8,0	100 *ом*—2 *Мом*	0,25	70	200
МТ-0,5	4,2×10,8	100 *ом*—5,1 *Мом*	0,5	150	350
МТ-1	6,6×18,0	100 *ом*—10 *Мом*	1,0	300	500
МТ-2	8,6×28,0	100 *ом*—10 *Мом*	2,0	600	700

* Промежуточные значения номинальных сопротивлений согласно табл. 1.

цента. При этом у резисторов типа МЛТ это уменьшение меньше, чем у резисторов ВС, а у некоторых образцов МЛТ вовсе не наблюдается. По истечении указанного срока величина высокоомного сопротивления начинает возрастать.

При работе в схемах непроволочных резисторов ВС и МЛТ наблюдаются необратимые изменения их сопротивления. Чем больше резистор нагружен и чем выше рабочая температура, тем сильнее сказывается это явление. При эксплуатации в цепях постоянного тока необратимые изменения нагруженных резисторов больше, чем при эксплуатации в цепях переменного тока (при одинаковых рассеиваемых мощностях). Последнее явление объясняется тем, что под действием напряжения между витками токопроводящего слоя возникают электролитические процессы в стекловидной фазе керамики, из которой изготовлены стержень или трубка резистора. Эти процессы нарушают структуру керамики в канавках между витками, что приводит в дальнейшем к разрушению краев витков токопроводящего слоя. При повышении рабочей температуры электролитические процессы в стекловидной фазе керамики активизируются и разрушение токопроводящего слоя происходит быстрее.

В цепях с импульсными токами резисторы типов ВС, МЛТ и МТ надежно работают только при условии, что средняя рассеиваемая ими мощность в 5—10 раз меньше $P_{ном}$. Вместе с тем мощность в импульсе может значительно превышать номинальную, а амплитуда напряжения при этом может быть в несколько раз больше предельного напряжения постоянного или переменного тока $U_{макс}$. Так, для резисторов типов ВС, МЛТ и МТ допускается мощность в импульсе при больших частотах повторения до 1 000 раз больше номинальной, а амплитуда импульсного напряжения в зависимости от номинальной мощности в 1,5—2 раза больше предельного напряжения постоянного или переменного тока.

Резисторы типа КИМ (Композиционные Изолированные Малогабаритные). Проводящим веществом в этих резисторах является композиция (состав), основной частью которой является углерод. Эта композиция нанесена на поверхность стержня из изоляционного материала. Стержень опрессован пластмассой. Внешне резистор КИМ представляет собой маленький пластмассовый цилиндр, из торцов которого выходят выводы.

Резисторы КИМ-0,05 с номинальными сопротивлениями до 1 *Мом* и резисторы КИМ-0,125 до 100 *Мом* изготавливают с допускаемыми отклонениями от номинала ±5, ±10 и ±20%, а резисторы с бóльшими со-

противлениями — только с отклонениями ±10 и ±20%.

Резисторы типа УЛИ (Углеродистые Лакированные для Измерительной аппаратуры) по конструкции подобные резисторам ВС-0,25— ВС-2. Лучшая стабильность параметров резисторов УЛИ при работе и хранении достигнута тем, что у них более толстый слой углерода, более влагоустойчивое лаковое покрытие и размеры их больше, т. е. перегрев меньше. Так, например, резисторы УЛИ-0,1 с номиналами от 10 *ом* до 1 *Мом* имеют почти такие же размеры, как резисторы ВС-0,25, резисторы УЛИ-0,5 — как ВС-1, а УЛИ-1 — как ВС-2 (см. табл. 4 и 5). Изготавливают резисторы типа УЛИ с любой величиной номинального сопротивления с допускаемыми отклонениями ±1, ±2 и ±3%

Таблица 5

Непроволочные резисторы повышенной точности

Вид резистора	$D_{макс} \times L_{макс}$, *мм*	Пределы $R_{ном}$	$P_{ном}$, *вт*	$U_{макс}$, *в*
УЛИ-0,1	5,5×16,5	1 *ом*—10 *ом*	0,1	1
УЛИ-0,25	7,2×16,5	1 *ом*—10 *ом*	0,25	1,5
	5,5×26,5	10 *ом*—1 *Мом*	0,25	350
УЛИ-0,5	9,8×18,0	0,75 *ом*—10 *ом*	0,5	2,2
	7,6×30,5	10 *ом*—1 *Мом*	0,5	500
УЛИ-1	11,5×26,5	1 *ом*—10 *ом*	1,0	3,0
	9,8×48,5	10 *ом*—1 *Мом*	1,0	700
БЛП-0,1	6,0×16,5	1 *ом*—20 *ом*	0,1	1,4
	6,0×18,0	22 *ом*—100 *ком*	0,1	100
БЛП-0,25	7,6×16,5	1 *ом*—20 *ом*	0,25	2,2
	6,0×29,0	22 *ом*—100 *ком*	0,25	150
БЛП-0,5	9,8×18,0	1 *ом*—20 *ом*	0,5	3,0
	8,0×32,5	22 *ом*—100 *ком*	0,5	220
БЛП-1	11,5×26,5	1 *ом*—20 *ом*	1,0	4,5
	9,8×47,5	22 *ом*—100 *ком*	1,0	300
МГП-0,5	14,0×30,0	100 *ком*—5,1 *Мом*	0,5	400

При работе в интервале температур 60÷80° С рассеиваемая мощность не должна превышать 70% номинальной.

Резисторы типа БЛП (Бороуглеродистые Лакированные Прецизионные), также предназначаемые для использования в измерительной аппаратуре, обладают лучшей стабильностью параметров по сравнению с ре-

зисторами УЛИ. Это достигнуто тем, что пленка углерода содержит примесь бора. Конструкция резисторов БЛП такая же, как резисторов ВС и УЛИ. Выпускают резисторы типа БЛП с сопротивлением до 20 *ом* с любым значением номинального сопротивления, а с сопротивлением от 22 *ом* до 100 *ком* с номинальными сопротивлениями по ряду «±5%» табл. 1; допускаемое отклонение от номинального сопротивления ±0,5 или ±1%.

Резисторы МГП-0,5 (Металлопленочные Герметизированные Прецизионные). Повышенная стабильность параметров этих резисторов достигнута тем, что их проводящие элементы имеют размеры резистора МЛТ-2, а допускаемая мощность рассеяния не превышает 0,5 *вт*; кроме того, проводящие элементы опрессованы влагостойкой пластмассой. Выпускаются с допускаемыми отклонениями от номинального сопротивления ±0,5; ±1 и ±2%.

Обозначение постоянных непроволочных резисторов в технической документации. В спецификациях к схемам радиоаппаратуры промышленного производства и другой технической документации основные данные постоянных резисторов указывают сокращенными записями в следующем порядке:

1. Наименование типа резистора.
2. Номинальная мощность рассеяния в ваттах (или как исключение номинальное напряжение в киловольтах для высоковольтных резисторов).
3. Литер конструктивного варианта резистора, если резистор данного типа и данной номинальной мощности рассеяния выпускается в различных конструктивных исполнениях.
4. Номинальное сопротивление в омах, килоомах или мегомах.
5. Допускаемое отклонение величины сопротивления от номинальной.
6. Группа по величине шумов или класс ТКС для непроволочных резисторов повышенной точности (группу Б и класс А часто не обозначают).

Так, например, постоянный непроволочный резистор типа МЛТ с номинальной мощностью рассеяния 0,5 *вт*, номинальной величиной сопротивления 39 *ком*, допустимым отклонением от номинала ±10%, имеющий шу-

мы меньше 1 *мкв/в*, в технической документации обозначают так: МЛТ-0,5 39 *ком* 10% А. Если все резисторы какого-либо типа выпускаются только с одной номинальной мощностью рассеяния, либо только по одному классу точности, либо их э. д. с. шумов не регламентируется ГОСТ или техническими условиями, соответствующие цифровые или буквенные индексы в обозначении отсутствуют.

Обозначения постоянных непроволочных резисторов новых типов начинаются с буквы С, после которой следует цифра, характеризующая примененный в них проводящий материал и основную конструктивную особенность резистора:

1 — пленочный углеродистый или бороуглеродистый;
2 — металлопленочный;
3 — пленочный композиционный;
4 — объемный.

После этого ставится черточка (дефис) и дается порядковый номер конструктивного варианта резистора.

ПРОВОЛОЧНЫЕ ЭМАЛИРОВАННЫЕ РЕЗИСТОРЫ

В цепях питания радиоаппаратуры (главным образом в силовых блоках) широко применяют резисторы ПЭ (Проволочные Эмалированные) и ПЭВ (Проволочные Эмалированные Влагостойкие).

Проволочный эмалированный резистор представляет собой керамическую трубку (из ультрафарфора), на которую намотана неизолированная проволока высокого удельного сопротивления (константановая или нихромовая). Обмотка эта покрыта теплостойкой неорганической стеклоэмалью коричневого или зеленого цвета. Она изолирует друг от друга витки обмотки и защищает ее от влаги, загрязнений и механических повреждений.

Выводы концов обмотки резисторов ПЭ — гибкие жгуты, свитые из тонких медных проволок (рис. 8), концы которых подпаиваются в схему. Выводы обмоток резисторов ПЭВ — латунные пластинки с отверстиями для подпайки внешних проводников схемы.

Разновидностью резисторов ПЭВ являются резисторы ПЭВР (старое название ПЭВ-Х). Последние отличаются наличием хомутика, охватывающего тело резис-

тора и могущего передвигаться вдоль него. Для осуществления контакта хомутика с промежуточными витками резистора вдоль его корпуса сделана очищенная от стеклоэмали дорожка. Следовательно, сопротивление резистора ПЭВР можно регулировать.

Все эти резисторы (табл. 6) выпускают с отклонением от номинала ±10 или ±5%.

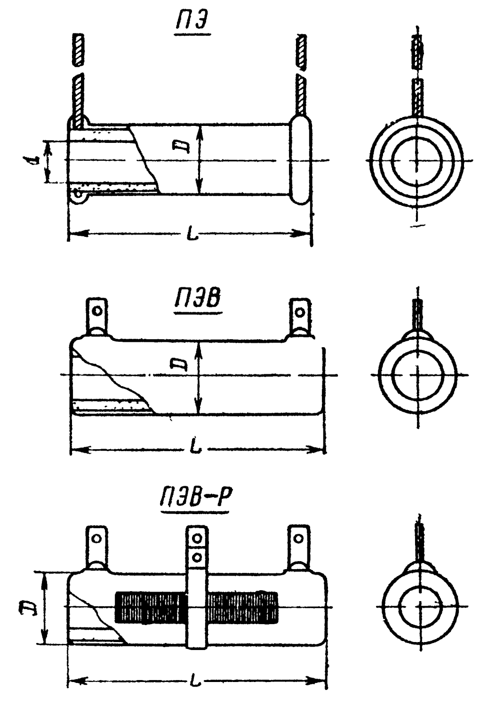


Рис. 8. Проволочные эмалированные резисторы.

Наиболее часто встречающийся в эксплуатации дефект резисторов ПЭ, ПЭВ и ПЭВР — нарушение контакта в месте сварки провода высокого сопротивления с выводом.

Система обозначения проволочных резисторов в технической документации такая же, как и непроволочных (см. стр. 26). Обозначение типов новых проволочных резисторов начинается с индекса С5, после чего следует номер конструктивного варианта.

Таблица 6

Проволочные эмалированные резисторы постоянные и регулируемые

Тип резистора	$P_{ном}$, *вт*	Пределы $R^{*}_{ном}$	$D_{макс} \times L_{макс}$, *мм*
ПЭ-7,5	7,5	3,0 *ом*—5,1 *ком*	14×41
ПЭ-15	15	3,0 *ом*—5,1 *ком*	16×51
ПЭ-20	20	2,4 *ом*—5,1 *ком*	20×51
ПЭ-25	25	4,7 *ом*—5,6 *ком*	25×51
ПЭ-50	50	1,0 *ом*—16 *ком*	25×92
ПЭ-75	75	1,0 *ом*—30 *ком*	25×163
ПЭ-150	150	1,0 *ом*—51 *ком*	33×219
ПЭВ-2,5	2,5	43 *ом*—430 *ом*	14×27
ПЭВ-3	3,0	3,0 *ом*—510 *ом*	16×27
ПЭВ-7,5	7,5	1,0 *ом*—3,3 *ком*	16×36
ПЭВ-10	10	1,8 *ом*—10 *ком*	16×42
ПЭВ-15	15	3,9 *ом*—15 *ком*	19×46
ПЭВ-20	20	4,7 *ом*—20 *ком*	19×52
ПЭВ-25	25	10 *ом*—24 *ком*	23×52
ПЭВ-30	30	10 *ом*—30 *ком*	23×73
ПЭВ-40	40	18 *ом*—51 *ком*	23×89
ПЭВ-50	50	18 *ом*—51 *ком*	32×92
ПЭВ-75	75	47 *ом*—56 *ком*	32×143
ПЭВ-100	100	47 *ом*—56 *ком*	32×173
ПЭВР-10	10	3 *ом*—220 *ом*	16×42
ПЭВР-15	15	5,1 *ом*—220 *ом*	19×46
ПЭВР-20	20	10 *ом*—430 *ом*	19×52
ПЭВР-25	25	10 *ом*—510 *ом*	23×52
ПЭВР-30	30	15 *ом*—1 *ком*	23×73
ПЭВР-50	50	22 *ом*—1,5 *ком*	32×92
ПЭВР-100	100	47 *ом*—2,7 *ком*	32×173

* Промежуточные значения — см. табл. 1.

ПЕРЕМЕННЫЕ НЕПРОВОЛОЧНЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Переменные непроволочные резисторы применяют в радиоаппаратуре для осуществления различных регулировок.

Переменный резистор вида СП-1 (рис. 9 и 10,*а*, табл. 7). К цилиндрическому корпусу *1* из пластмассы приклеена дужка *2* из гетинакса. Поверхность последней покрыта тонким токопроводящим слоем композиции, состоящей из частиц углерода (сажи), размешанного в лаке. После нанесения этого состава на гетинакс он подвергается полимеризации в условиях высокой температуры. У резисторов с линейной кривой

(см. кривую *А* на рис. 2) удельная проводимость слоя равномерна по всей длине дужки, а у резисторов с кривыми видов *Б* и *В* она изменяется от одного конца дужки к другому. В центре корпуса имеется металлическая втулка, внутри которой свободно вращается металлическая ось *3* с гетинаксовой фигурной пластинкой *4* на одном ее конце. На гетинаксовой пластинке укреплена контактная щетка *5*, состоящая из нескольких изогнутых пружинящих проволочек. Она прижимается к поверхности проводящего слоя на дужке и электрического соединения с осью не имеет.

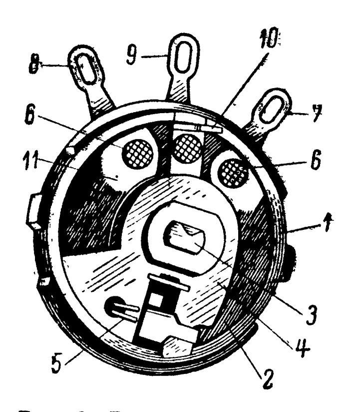


Рис. 9. Внутреннее устройство переменного резистора типа СП-I, СП-V.

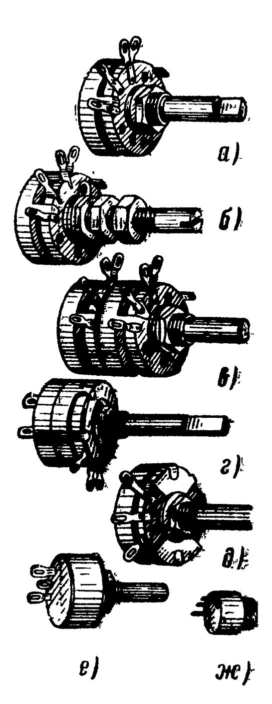


Рис. 10. Общий вид переменных непроволочных резисторов.

а — СП-I; *б* — СП-II; *в*—СП-III; *г*—ТК; *д*—ВК; *е* — СПО-2; *ж* — СПО-0,5.

Концы слоя углерода имеют серебряное покрытие *11*; через него и заклепки *6* проводящий слой соединен с выводными лепестками *7* и *8*. Щетка же имеет соединение со средним выводным лепестком *9*. При вращении оси щетка скользит по поверхности проводящего слоя на дужке, вследствие чего сопротивление между средним и крайними выводами изменяется. Полный угол

Таблица 7

Переменные непроволочные резисторы

Тип резистора	$D_{макс}$, *мм*	Вид кривой по рис. 2	Пределы $R_{ном}$	$P_{ном}$, *вт*	$U_{макс}$, *в*
СП	29	А	470 *ом*—5 *Мом*	0,5; 1; 2	400
		Б; В	5 *ком*—2,5 *Мом*	0,25; 0,5; 1	350
ТК	34	А	2,5 *ком*—7,5 *Мом*	0,5	350
ВК	34	Б	15 *ком*—2 *Мом*	0,2	200
		Б	15 *ком*—2 *Мом*	0,4	350
		В	36 *ком*—2 *Мом*	0,2	200
		В	36 *ком*—2 *Мом*	0,4	350
СП3-7	26	А	5 *ком*; 1 и 2,5 *Мом*	0,125	200
		В	5; 10; 100 и 470 *ком*; 1 и 2,2 *Мом*	0,125	200
СП3-8	34	А	22 *ком*; 2,2 *Мом*	0,5	350
		В	10 и 470 *ком*	0,25	200
СПО-0,15	9,6	А	100 *ом*—1 *Мом*	0,15	160
СПО-0,5	15,6	А	100 *ом*—1 *Мом*	0,5	250
СПО-1	21,0	А	51 *ом*—4,7 *Мом*	1	500
СПО-2	28,0	А	47 *ом*—4,7 *Мом*	2	600

вращения оси и щетки, ограничиваемый упором *10*, составляет 250—260°. Описанный механизм закрыт металлическим чехлом, предохраняющим его от механических повреждений, пыли и частично от влаги.

С помощью втулки, на внешней поверхности которой имеется резьба, и навинчиваемой на нее гайки резистор крепится в отверстии монтажной панели. Выступающий из втулки конец оси, на который насаживается ручка, имеет диаметр 6 *мм*. Некоторые оси имеют на концах плоские срезы для удобства крепления ручек или шлицы для вращения с помощью отвертки. Последние применяют в случаях, когда переменными резисторами в эксплуатации приходится пользоваться редко.

Резисторы вида СП-II снабжены фиксаторами положения осей в виде дополнительных разрезных втулок с навинчивающимися на них гайками (рис. 10, *б*). С помощью последних ось можно застопорить в любом положении, после того как закончена регулировка сопротивления и этим исключить возможность случайно нарушить установленное положение щетки на дужке.

Резистор вида СП-III представляет собой два переменных резистора описанной выше конструкции, имеющих общую ось (рис. 10, *в*). С его помощью можно регулировать напряжение или ток одновременно в двух электрических цепях. Данные, обозначенные на его крышке выше товарного знака завода-изготовителя (номинальная мощность рассеяния, номинальное сопротивление, характер изменения сопротивления —буквами *А*, *Б*, *В* согласно рис. 2), относятся ко второму резистору, считая от оси, а данные ниже товарного знака — к первому резистору, т. е. более близкому к оси.

Резистор СП-IV устроен так же, как и резистор СП-III, но с добавлением устройства для стопорения оси (разрезная втулка и гайка как у резистора СП-II).

Резистор СП-V подобен по конструкции резистору СП-I, но не имеет фиксаторов положения корпуса на монтажной панели.

Переменные резисторы типа СП всех видов при номинальных сопротивлениях величиной до 250 *ком* имеют отклонение от этой величины не более ±20%, а такие же резисторы с большими номинальными сопротивлениями — до ±30%.

Резистор ВК (рис. 10, *д*) устроен аналогично резистору СП-1, но диаметр его корпуса несколько больше. Угол вращения оси около 270°.

Резистор ТК отличается от резистора ВК наличием выключателя (рис. 10, *г*), который приводится в действие вращением оси резистора, когда его контактная щетка находится в начале токопроводящего слоя; выключатель рассчитан на ток до 2 *а*.

Полный угол вращения оси резистора ТК такой же, как и у ВК (около 270°), но сопротивление изменяется только в пределах угла около 220°; в пределах остальной части угла вращения срабатывает выключатель, и сопротивление не изменяется.

Изготавливают резисторы ТК и ВК с отклонением от номинального сопротивления не более ±25%.

Резистор СНК состоит из двух переменных резисторов, имеющих самостоятельные концентрично расположенные оси. Ось первого (ближайшего к оси и втулке крепления) резистора пустотелая; в отверстие в ней проходит сплошная ось второго резистора. Конструкция

каждого из них и электрические параметры аналогичны таковым переменного резистора типа ВК.

Резистор СНВК устроен так же, как и резистор СНК, но имеет выключатель, механически связанный с осью второго резистора.

Резистор СП3-7 предназначается для стереофонических двухканальных приемников и усилителей; состоит он из двух переменных резисторов, управляемых общей осью (подобен резистору СП-III). Изготавливают резисторы с линейной зависимостью сопротивления от угла поворота оси (см. кривую *А* на рис. 2) для регулирования тембра и обратно логарифмической зависимостью (кривая *В*) для регулирования громкости (усиления).

Резисторы СП3-7 с номинальными сопротивлениями до 100 *ком* (табл. 7) изготавливают с предельно допустимым отклонением ±20%, а с большими номинальными сопротивлениями — с допуском ±30%.

Резистор СП3-8 разработан для автомобильных радиоприемников и представляет собой агрегат, состоящий из переменного резистора — регулятора громкости (с кривой вида *В* по рис. 2), переменного резистора — регулятора тембра (с кривой вида *А*) и выключателя питания, рассчитанного на ток до 4 *а* при напряжении до 18 *в*.

Резисторы имеют две самостоятельные концентрично расположенные оси, вращающие контактные щетки резисторов. Ось первого резистора (ближайшего к оси и втулке крепления), регулирующего тембр, пустотелая; в ее осевом отверстии расположена сплошная ось резистора регулирования громкости, которая, кроме того, приводит в действие выключатель. Резистор регулирования громкости имеет промежуточный отвод, используемый для включения цепочки тонкоррекции; сопротивление до отвода составляет 20—40% полной величины сопротивления. Резисторы с номинальными сопротивлениями 10 и 22 *ком* (см. табл. 7) имеют отклонение сопротивления не больше ±20%, а резисторы с номинальными сопротивлениями 470 *ком* и 2,2 *Мом* — не больше ±30%.

Резисторы типа СПО (рис. 10, *е* и *ж*). Их корпуса изготовлены из керамики (стеатит). Токопроводящий слой неорганического состава впрессован в дугообраз-

ную канавку в керамическом корпусе и имеет значительно большую толщину (0,3—0,4 *мм*), чем у описанных выше резисторов. Поэтому резисторы СПО и называются объемными. Контактные щетки этих резисторов изготовлены из пластичного проводящего материала, в который входит углерод (графит, сажа). Полный угол вращения осей — около 290°. Отклонение от номинала ±20 или ±10%.

Верхний предел рабочей температуры резисторов СПО значительно выше, чем у резисторов СП, ВК, ТК и при этом они могут работать без снижения мощности при значительно более высоких температурах (см. табл. 2). Существенно лучше влагостойкость резисторов СПО; высокоомные резисторы СПО имеют меньший уровень шумов. Так, если у резисторов СП с номинальными значениями от 120 до 470 *ком* э. д. с. шумов может достигать 10 *мкв/в*, то у резисторов СПО таких же номиналов э. д. с. шумов не превышает 5 *мкв/в*.

Недостатком некоторых резисторов СПО является недостаточная плавность хода тонкосъемной щетки при вращении оси.

Обозначение переменных непроволочных резисторов в технической документации. В спецификациях к схемам радиоаппаратуры и в другой технической документации основные данные переменных непроволочных резисторов указывают сокращенными записями в следующем виде:

1. Тип резистора (СП, СПО).
2. Конструктивный вариант резистора (для резисторов СПО — номинальная мощность рассеяния).
3. Вид конца оси: ОС-3 — шлиц под отвертку; ОС-5 — лыска (срез) для крепления ручки управления.
4. Длина выступающего конца оси, *мм*.
5. Буквенное обозначение кривой, по которой изменяется сопротивление, согласно рис. 2.
6. Номинальная мощность рассеяния, *вт*.
7. Номинальное сопротивление, *ом*, *ком*, *Мом*.
8. Допускаемое отклонение от номинального сопротивления (только для резисторов, которые изготавливают с различными отклонениями).

После наименования типа и конструктивного варианта сдвоенного резистора идет горизонтальная черта.

Под нею указываются данные резистора, находящегося у втулки крепления, а под нею — другого резистора.

Пример обозначения. Резистор типа СП-V с лыской на оси, предназначенной для насадки ручки, при длине оси 60 *мм*, с линейной зависимостью сопротивления от угла поворота оси, номинальной мощностью рассеяния 0,5 *вт* и номинальным сопротивлением 100 *ком* обозначается так:

СП-V ОС-5 60 А 0,5 *вт* 100 *к*.

В обозначениях резисторов новых типов (разработанных после 1963 г.) после букв СП следует цифра, характеризующая основные конструктивные особенности резистора: 3 — непроволочный, пленочный, композиционный; 4 — то же объемный; 5 — проволочный.

После этого через черточку (дефис) арабской цифрой дается порядковый номер варианта конструктивного исполнения переменного резистора.

Выбор переменных резисторов для аппаратуры. В регуляторах громкости и тембра радиоприемников и усилителей можно использовать переменные резисторы с любой номинальной мощностью рассеяния; при этом в регуляторах громкости, чтобы регулирование было достаточно равномерным как при слабых, так и при сильных сигналах, следует применять резисторы с кривой вида *В* (см. рис. 2). В регуляторах тембра применяют переменные резисторы с кривой вида *А*.

Для регулирования напряжений и токов в цепях питания аппаратуры также обычно применяют переменные резисторы с кривой вида *А*. При этом необходимо иметь в виду, что переменные резисторы типов СП, ВК, ТК при нагрузке их полной номинальной мощностью могут действительно надежно работать лишь в течение нескольких сотен часов. Для увеличения срока службы этих резисторов необходимо эксплуатировать их в таком режиме, чтобы рассеиваемая на них мощность $P_{расс}$ была бы в 2—3 раза меньше $P_{ном}$. Для повышения надежности резисторов типа СПО рассеиваемую на них мощность следует понижать на 20—30%.

Рассеиваемая на переменном резисторе мощность $P_{расс}$ зависит не только от его сопротивления и подаваемого на него напряжения, но и от схемы включения резистора. Приводим формулы для расчета мощности

рассеяния резистора с кривой вида *А* для различных случаев его применения.

1. Переменный резистор с сопротивлением $R_п$ используется для регулирования напряжения (в качестве ненагруженного потенциометра), причем ток в нагрузку не ответвляется (рис. 11, *а*):

$$P_{расс} = \frac{U^2}{R_п} < P_{ном}. \quad (3)$$

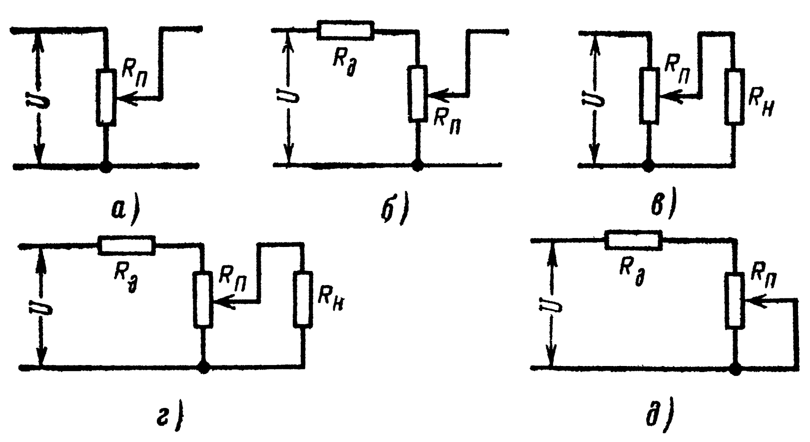


Рис. 11. К расчету мощности, рассеиваемой переменным резистором.

Сопротивление резистора, при котором рассеиваемая мощность $P_{расс}$ не превышает заданной,

$$R_п \geqslant \frac{U^2}{P_{расс}}. \quad (4)$$

Напряжение U не должно превышать $U_{макс}$, указанного в табл. 7.

Вместо расчета по формулам (3) и (4) можно воспользоваться графиком на рис. 4.

2. То же, но последовательно с переменным резистором в цепь питания включен постоянный резистор с сопротивлением $R_д$ (рис. 11, *б*):

$$P_{расс} = \left(\frac{U}{R_п + R_д}\right)^2 R_п < P_{ном}. \quad (5)$$

3. Переменный резистор используется для регулирования напряжения; при этом ответвляется ток в нагрузку, имеющую сопротивление $R_н$ (рис. 11, *в*),

$$P_{расс} = \frac{U^2}{R_п}\left(\frac{R_п}{R_н} + 1\right)^2 < P_{ном}. \qquad (6)$$

4. То же, но последовательно с переменным резистором включен постоянный резистор с сопротивлением $R_д$ (рис. 11, *г*):

$$P_{расс} = \left(\frac{U}{R_д + \frac{R_н R_п}{R_н + R_п}}\right)^2 R_п < R_{ном}. \qquad (7)$$

Если $R_н \geqslant 10R_п$, то вместо формул (6) и (7) можно пользоваться формулами (3) и (5) соответственно.

5. Переменный резистор используется для регулирования тока в цепи питания (в качестве реостата); последовательно включен постоянный резистор с сопротивлением $R_д$ (рис. 11, *д*):

$$P_{расс} = \left(\frac{U}{R_д}\right)^2 R_п < P_{ном}. \qquad (8)$$

Пример 3. Определить минимально необходимое сопротивление $R_п$ переменного резистора типа СП-V мощностью рассеяния $P_{ном} = 0{,}5$ *вт* с кривой вида *А* для подключения его к источнику тока с напряжением $U = 220$ *в* (рис. 11, *а*).

Принимаем $P_{расс} = \frac{P_{ном}}{2} = \frac{0{,}5}{2} = 0{,}25$ *вт.*

При этом по формуле (4)

$$R_п \geqslant \frac{220^2}{0{,}25} = 194 \text{ ком}.$$

Выбираем переменный резистор с ближайшим большим номинальным сопротивлением 220 *ком*.

Такой же результат можно получить, пользуясь графиком на рис. 4.

Пример 4. Выбрать переменный непроволочный резистор для использования его в качестве потенциометра при градуировке вольтметра (рис. 12). Напряжение источника питания схемы $U = 170$ *в*; образцовый вольтметр с конечной отметкой шкалы 150 *в* имеет внутрен-

нее сопротивление $R_1 = 600$ *ком* (ток полного отклонения 0,25 *ма*); градуируемый вольтметр с такой же шкалой имеет внутреннее сопротивление $R_2 = 150$ *ком* (ток полного отклонения 1 *ма*). Сопротивление потенциометра $R_п$ должно быть по крайней мере в 2 раза меньше сопротивления нагрузки $R_н$, т. е. параллельно соединенных сопротивлений вольтметров R_1 и R_2.

Сопротивление нагрузки потенциометра

$$R_н = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{600 \cdot 10^3 \cdot 150 \cdot 10^3}{600 \cdot 10^3 + 150 \cdot 10^3} = 120 \cdot 10^3 \, ом = 120 \, ком.$$

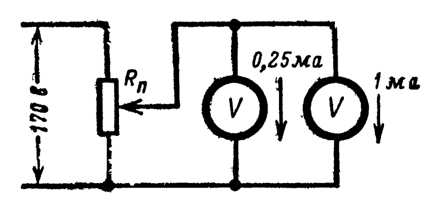


Рис. 12. К примеру расчета 4.

Следовательно, переменный резистор должен иметь сопротивление не больше $120:2=60$ *ком*. Выбираем переменный резистор с номинальным сопротивлением $R_п = 47$ *ком* ($47 \cdot 10^3$ *ом*).

Согласно формуле (6) рассеиваемая на переменном резисторе мощность

$$P_{расс} = \frac{170^2}{47 \cdot 10^3} \left(\frac{47 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^3} + 1 \right)^2 \approx 1{,}2 \, вт.$$

Учитывая, что резистор будет работать в свободном пространстве при комнатной температуре и использование его будет кратковременным, возможно применение переменного резистора типа СП-I с номинальной мощностью рассеяния $P_{ном} = 2$ *вт*.

Пример 5. Необходим переменный непроволочный резистор для той же цели, что и в примере 4, но при $U=300$ *в*, $R_1=1{,}2$ *Мом* и $R_2=300$ *ком* (стрелочные приборы такие же, как в примере 4).

Рекомендуем читателю самостоятельно убедиться, произведя расчет, аналогичный приведенному в примере 4, что ни один из типовых переменных непроволочных резисторов непригоден для использования в режиме, приведенном в примере 5.

ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ

Терморезисторами называют нелинейные резисторы, сопротивление которых сильно зависит от температуры; они обладают большими отрицательными температурными коэффициентами (рис. 13 и 14). Их называют также термисторами, термосопротивлениями, термочувствительными резисторами, термоуправляемыми резисторами. Конструктивно терморезистор представляет собой непроволочный резистор объемного типа в виде стержня или шайбы, изготовленной из полупроводникового материала — смеси окислов различных металлов: меди, марганца, кобальта и др. либо их сернистых соединений.

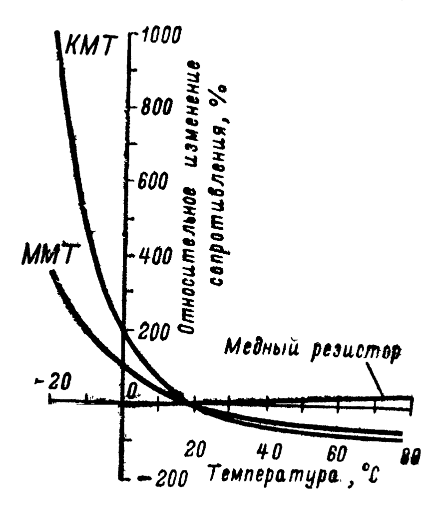


Рис. 13. Температурные характеристики терморезисторов.

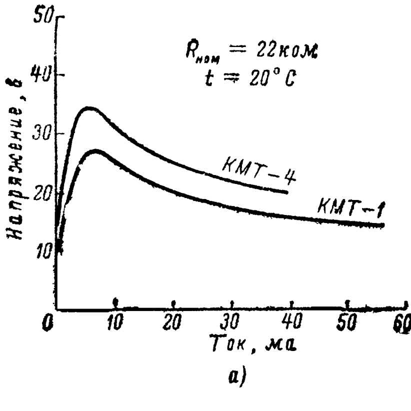
Из числа отечественных наиболее распространены кобальтомарганцовые (КМТ), медно - марганцовые (ММТ) и медно-кобальто-марганцовые (СТ3) терморезисторы. При изменении температуры от 0 до 100°С сопротивление терморезистора уменьшается в 20—70 раз (сопротивление резистора, изготовленного из медного провода в том же интервале температур увеличивается примерно на 40%).

Терморезисторы упомянутых типов широко используют для температурной стабилизации схем радиоэлектронной аппаратуры (телевизоры, транзисторные радиоприемники), а также для измерения и регулирования температуры, в качестве датчиков в устройствах дистанционного управления и для других целей.

Важными параметрами терморезисторов, кроме номинального сопротивления и номинальной (максималь-

ной) мощности рассеяния, являются также постоянная времени и минимальная мощность рассеяния.

Номинальное сопротивление терморезистора и допустимое отклонение от него. В связи с тем, что сопротивление терморезистора существенно изменяется даже при небольших колебаниях температуры, эти параметры регламентируются для строго определенной температуры: 20±1° С. Пределы номинальных сопротивлений и допустимые отклонения для различных терморезисторов указаны в табл. 8.



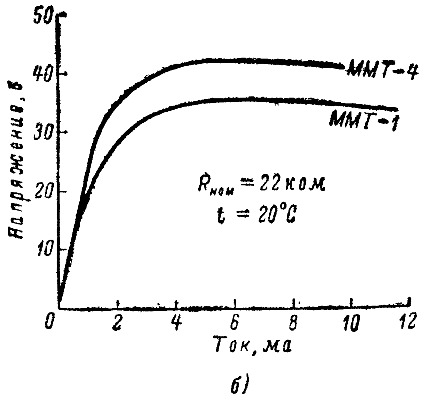


Рис. 14 Вольт-амперные характеристики резисторов.

Некоторые типы терморезисторов вместо номинального сопротивления характеризуют номинальным током, который протекает через терморезистор при подаче на него заданного напряжения при заданной рабочей (повышенной) температуре. В этом случае регламентируется допустимое отклонение от величины напряжения.

Постоянная времени τ характеризует тепловую инерционность терморезистора; это — время в секундах, в течение которого температура терморезистора становится равной 63° С с момента перенесения его из воздушной среды с температурой 0° С в воздушную среду с температурой 100° С.

Максимальная (номинальная) мощность рассея-

Таблица 8

Терморезисторы

Вид терморезистора	$D_{макс} \times L_{макс}$, *мм*	Пределы $R_{ном}$**	Допуск, %	$P_{макс}$, *вт*	$P_{t\,макс}$, *мвт*	$P_{мин}$ *мвт*
		Кобальто-марганцовые				
КМТ-1	2,8×13,5	22 *ком*—1 *Мом*	±20	1,0	0,3	1,0
КМТ-4	6,5×24,0	22 *ком*—1 *Мом*	±20	0,8	0,3	1,0
КМТ-8	23,5×15,0	100 *ом*—10 *ком*	±10	0,6	1,0	3,0
		Медно-марганцовые				
ММТ-1	2,8×13,5	1 *ком*—220 *ком*	±20	0,6	0,4	1,3
ММТ-4	6,5×24,0	1 *ком*—220 *ком*	±20	0,7	0,5	2,0
ММТ-8	23,5×15,0	1 *ом*—1 *ком*	±10	0,6	2,0	10
ММТ-9	19,0×3,0*	10 *ом*—4,7 *ком*	±10	—	2,0	10
ММТ-13	10,0×3,6	10 *ом*—2,2 *ком*	±20	—	0,3	1,0

* Размер каждой шайбы.

** Промежуточные номинальные сопротивления терморезисторов — см. табл. 1.

ния $P_{макс}$ — мощность тока, разогревающего резистор до предельной температуры $t_{макс}$, когда он находится в спокойном воздухе с температурой 20±1° С.

Предельная температура нагрева терморезистора является одновременно максимально допустимой рабочей температурой окружающей среды $t_{макс}$ (см. табл. 2).

Минимальная мощность рассеяния $P_{мин}$ — величина мощности рассеяния, при которой терморезистор при прохождении через него тока практически не нагревается выше температуры окружающей среды и сопротивление его практически не изменяется. Условно считают, что нагрев от действия тока отсутствует, если при этом сопротивление терморезистора уменьшается не более чем на 1% (измерение производят в спокойном воздухе при температуре 20±1° С).

Терморезисторы КМТ-1 и ММТ-1. Такой терморезистор представляет собой стержень из соответствующего

полупроводникового материала, на концы которого напрессованы металлические колпачки с проволочными выводами, с помощью которых терморезистор монтируется в схему с применением пайки. Стержень вместе с колпачками покрыт органической эмалью зеленого цвета. По внешнему виду эти терморезисторы напоминают резисторы типа МЛТ (см. рис. 7).

Постоянная времени терморезисторов КМТ-1 и ММТ-1 $\tau \leqslant 85$ *сек.*

Терморезисторы КМТ-4 и ММТ-4 представляют собой подобные же полупроводниковые стержни *1*, но заключенные в литые металлические герметические корпусы *3* цилиндрической формы из красной меди (рис. 15). Один из металлических колпачков *2* на полупроводниковом стержне впаян в корпус с помощью оловянно-свинцового сплава *4*, и, таким образом, корпус терморезистора является одним из его выводов. Для удобства включения терморезистора в схему к его корпусу приварен проволочный вывод *5*. Второй проволочный вывод *6* от верхнего колпачка терморезистора выходит из корпуса через впаянный в него стеклянный изолятор *7*. Для улучшения теплопередачи между внутренними стенками корпуса терморезистора и полупроводниковым стержнем на последний намотана медная фольга *8*, заполняющая пространство между стержнем и внутренними стенками корпуса.

Постоянная времени терморезисторов КМТ-4 и ММТ-4 $\tau \leqslant 115$ *сек.*

Терморезистор ММТ-9 представляет собой шайбу или несколько шайб из смеси окислов меди и марганца (рис. 16). Плоские поверхности шайбы покрыты слоями серебра (электроды), а боковые окрашены органической эмалью.

Терморезистор ММТ-13 представляет собой шайбу подобную шайбе ММТ-9, но меньшего диаметра (около 10 *мм*). К серебряным электродам припаяны проволочные выводы (рис. 16). Эмаль покрывает шайбу со всех сторон.

Терморезисторы КМТ-8 и ММТ-8 (рис. 17) состоят из кобальто-марганцевых или медно-марганцевых шайб *1* соответственно, скрепленных болтом *2* и заключенных в металлический корпус *4* с лепестковыми контактными выводами *6* на стеклянных изоляторах *5*,

Корпус наполнен внутри компаундом 3. Полупроводниковые шайбы изолированы от корпуса.

Эти терморезисторы применяют главным образом в электроизмерительных приборах для повышения точности показаний их в широком диапазоне температур.

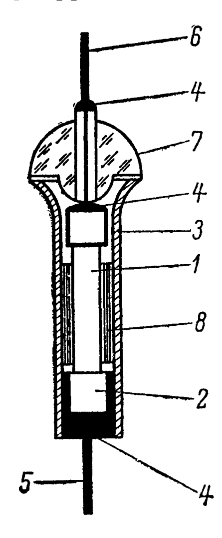


Рис. 15. Герметизированный терморезистор ММТ-4, КМТ-4 в разрезе.

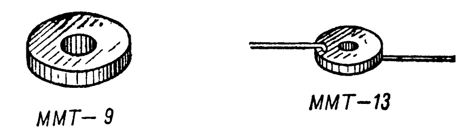


Рис. 16. Шайбовые терморезисторы ММТ-9 и ММТ-13.

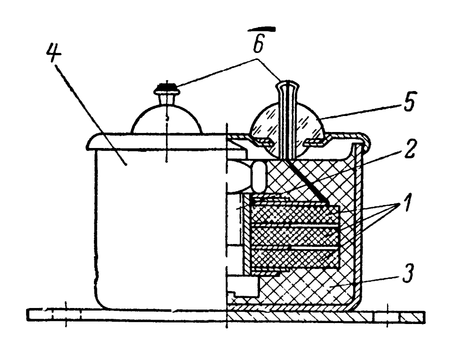


Рис. 17. Герметизированный шайбовый терморезистор КМТ-8, ММТ-8.

Расчет электрической цепи с заданным ТКС. При необходимости иметь электрическую цепь с заданным отрицательным ТКС, меньшим, чем ТКС терморезистора, включают параллельно или последовательно с последним обычный резистор, например типа ВС или МЛТ. При расчете такой цепи задают ее общее сопротивление $R_{общ}$, температурный коэффициент цепи $\alpha_{общ}$ и средний температурный коэффициент $\alpha_т$ терморезистора, который предполагается применить (см. табл. 3).

Задаваясь стандартной номинальной величиной сопротивления терморезистора, выбранной по табл. 8, того же порядка, что и сопротивление $R_{общ}$, находят со-

противление резистора, при включении которого получится ТКС, близкий по величине к требуемому. При этом возможны варианты[1].

1. Включение резистора с сопротивлением $R_ш$ параллельно терморезистору (рис. 18, *а*). В этом случае сопротивление терморезистора $R_т$ должно быть больше заданного общего сопротивления цепи $R_{общ}$. Тогда

$$R_ш = \frac{R_т R_{общ}}{R_т - R_{общ}}. \qquad (9)$$

Выбирают резистор с номинальным сопротивлением, ближайшим к полученному по формуле (9). При этом

$$\alpha_{общ} = \frac{\alpha_т R_ш}{R_ш + R_т}. \qquad (10)$$

2. Включение добавочного резистора с сопротивлением $R_д$ последовательно с терморезистором (рис. 18, *б*). В данном случае номинальное сопротивление терморезистора $R_т$ должно быть меньше заданного общего сопротивления электрической цепи $R_{общ}$. При этом

$$R_д = R_{общ} - R_т. \qquad (11)$$

Выбираем резистор с величиной номинального сопротивления, ближайшей к полученной по формуле (11). Тогда

$$\alpha_{общ} = \frac{\alpha_т R_т}{R_{общ}}. \qquad (12)$$

Возможно, придется сделать несколько вариантов расчета, остановившись на наиболее приемлемом результате.

Расчет делителя напряжения цепи базы транзисторного каскада с температурной стабилизацией. Коллекторный ток транзистора при повышении температуры, как известно, увеличивается, т. е. режим работы усилительного каскада изменяется. Это явление весьма вредно, в частности в оконечных низкочастотных каскадах, работающих в режиме АВ, т. е. при малых токах покоя. В связи с этим при конструировании усилительной и иной аппаратуры принимают меры к тому, чтобы изменения коллекторных токов при колебаниях температу-

---

[1] Поскольку температурный коэффициент включенного параллельно или последовательно обычного резистора значительно меньше ТКС терморезистора, величиной ТКС резистора при расчете можно пренебречь.

ры были минимальными: создают температурную стабилизацию режимов транзисторных схем. Широко распространен метод температурной стабилизации путем включения резисторов в цепи эмиттеров. Более эффективным способом температурной стабилизации является подача смещения на базы транзисторов от делителя на-

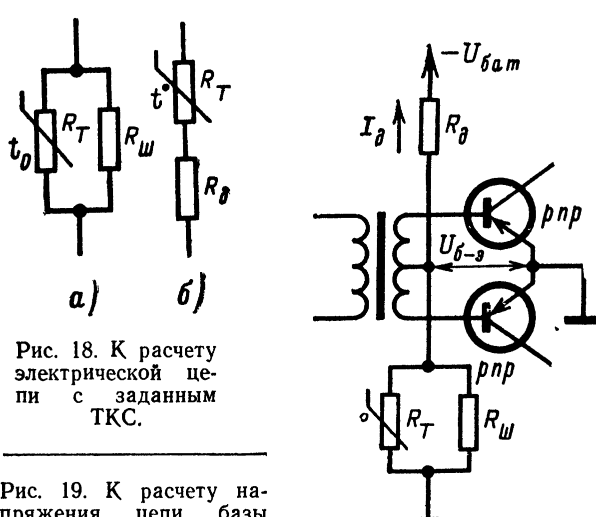


Рис. 18. К расчету электрической цепи с заданным ТКС.

Рис. 19. К расчету напряжения цепи базы транзисторного каскада.

пряжения, содержащего терморезистор (рис. 19). Наиболее подходит здесь низкоомный терморезистор типа ММТ-9 или ММТ-13, имеющий среднее значение температурного коэффициента сопротивления $\alpha \approx -3{,}7\,\%/град = 0{,}037/град$. Расчет производят в следующем порядке.

1. Определяют входное сопротивление транзистора по формуле

$$r_{вх} = \frac{-u_{б\text{-}э} + U_{б\text{-}э}}{-i_б + I_б}, \qquad (13)$$

где $u_{б\text{-}э}$ и $i_б$ — пиковые значения напряжения и тока базы транзистора;

$U_{б\text{-}э}$ и $I_б$ — напряжение и ток смещения базы транзистора в рабочей точке.

2. Выбирают терморезистор с номинальным сопротивлением $R_т$, примерно в 2 раза меньшим по сравнению с входным сопротивлением транзистора $r_{вх}$.

3. Вычисляют требуемое сопротивление шунтирующего резистора $R_ш$ по формуле

$$R_ш = \frac{R_т D_t}{-U_{б\text{-}э}(-0,9\alpha) - D_t}, \qquad (14)$$

где $D_t = \frac{\Delta U_{б\text{-}э}}{\Delta t}$ — изменение напряжения смещения базы при изменении температуры на 1° С при $I_к = \text{const}$; для германиевых сплавных транзисторов широкого применения типично значение $D_t = 0{,}002 \div 0{,}003$ *в/град.*

4. Выбирают терморезистор с номинальным сопротивлением, ближайшим по величине к вычислительной по формуле (14).

5. Вычисляют ток, потребляемый делителем напряжения от источника питания (батареи) с напряжением $U_{бат}$ по формуле

$$I_д = \frac{U_{б\text{-}э}(R_т + R_ш)}{R_т R_ш}. \qquad (15)$$

6. Определяют сопротивление резистора $R_д$ по формуле

$$R_д = \frac{U_{бат} - U_{б\text{-}э}}{I_д}. \qquad (16)$$

Если в последнюю формулу подставить величину тока $I_д$ в миллиамперах, то сопротивление $R_д$ получится в килоомах.

Пример 6. Рассчитать делитель напряжения цепи базы для транзисторного двухтактного оконечного каскада, работающего в режиме АВ. Задано: напряжение батареи $U_{бат} = 9$ *в*; напряжение смещения базы в рабочей точке $U_{б\text{-}э} = -0{,}11$ *в*; входное сопротивление транзистора $r_{вх} = 150$ *ом*; коэффициент $D_t = 0{,}0025$ *в/град.*

Выбираем терморезистор типа ММТ-13 (или ММТ-9) с номинальным сопротивлением $R_т = 68$ *ом*, для которо-

го среднее значение температурного коэффициента $\alpha = = 0,037/\textit{град}$. По формулам (14), (15) и (16)

$$R_ш = \frac{68 \cdot 0,0025}{-0,11 \cdot 0,9\,(-0,037) - 0,0025} = 144\ \textit{ом}.$$

Выбираем резистор со стандартным номинальным сопротивлением 150 *ом*.

$$I_д = \frac{0,11\,(68 + 150)}{68 \cdot 150} = 2,4\ \textit{ма};$$

$$R_д = \frac{9 - 0,11}{2,4} = 3,7\ \textit{ком}.$$

Можно применить резистор со стандартным номинальным сопротивлением 3,6 или 3,9 *ком*.

МОНТАЖ РЕЗИСТОРОВ

Ленточные и проволочные выводы резисторов (в том числе и резисторов) нельзя изгибать ближе, чем на расстоянии 5—10 *мм* от их корпусов. Изгибы должны быть плавными, с возможно большим радиусом закругления, иначе выводы могут надломиться.

Перегрев резистора может привести к изменению его сопротивления. Чтобы этого не случилось, пайку гибких выводов постоянных резисторов следует производить на расстоянии не менее 5—10 *мм* от их корпусов. При этом вывод малогабаритного резистора у самого его корпуса следует плотно захватить плоскогубцами. Последние будут поглощать тепло, распространяющееся от паяльника к телу резистора по выводу, уменьшая тем самым нагрев резистора во время пайки. По той же причине процесс припаивания гибкого вывода постоянного резистора к схеме, как и припаивания проводников к лепесткам переменных резисторов, должен быть возможно более коротким по времени — не более 10 *сек*. Если пайка не удалась, то ее рекомендуется повторять не ранее чем через 2—3 *мин* (время, необходимое для охлаждения резистора).

К электродам терморезисторов ММТ 9 припаивать соединительные проводники не рекомендуется, так как перегрев их может привести к значительному необрати-

мому изменению сопротивления. Электрический контакт с электродами этих терморезисторов следует осуществлять с помощью медных или латунных лепестков внешним диаметром 15—18 и внутренним 8—10 *мм*, которые плотно прижимают к электродам терморезисторов. Монтажные проводники припаивают к этим лепесткам. Крепят шайбовые терморезисторы, пропуская через их отверстия винты, изолируя их шайбами из текстолита, гетинакса или иного изоляционного материала.

При всех видах монтажных паек можно применять только бескислотные флюсы.

Проволочные эмалированные резисторы крепят в аппаратуре с помощью металлических болтов или шпилек, пропускаемых сквозь внутренние отверстия их трубок. Навинчиваемые на болты (шпильки) гайки и металлические шайбы к ним изолируют от торцов резисторов шайбами из какого-либо изоляционного материала, выдерживающего нагрев от резистора. Таким же способом можно крепить и мощные непроволочные резисторы ВС-5 и ВС-10. Если резистор находится под напряжением свыше 1—1,5 *кв*, то металлическое крепление следует дополнительно изолировать от шасси (монтажной панели).

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 10 коп.